डार्क मैटर पर प्रकाश



अमिताभ मुखर्जी

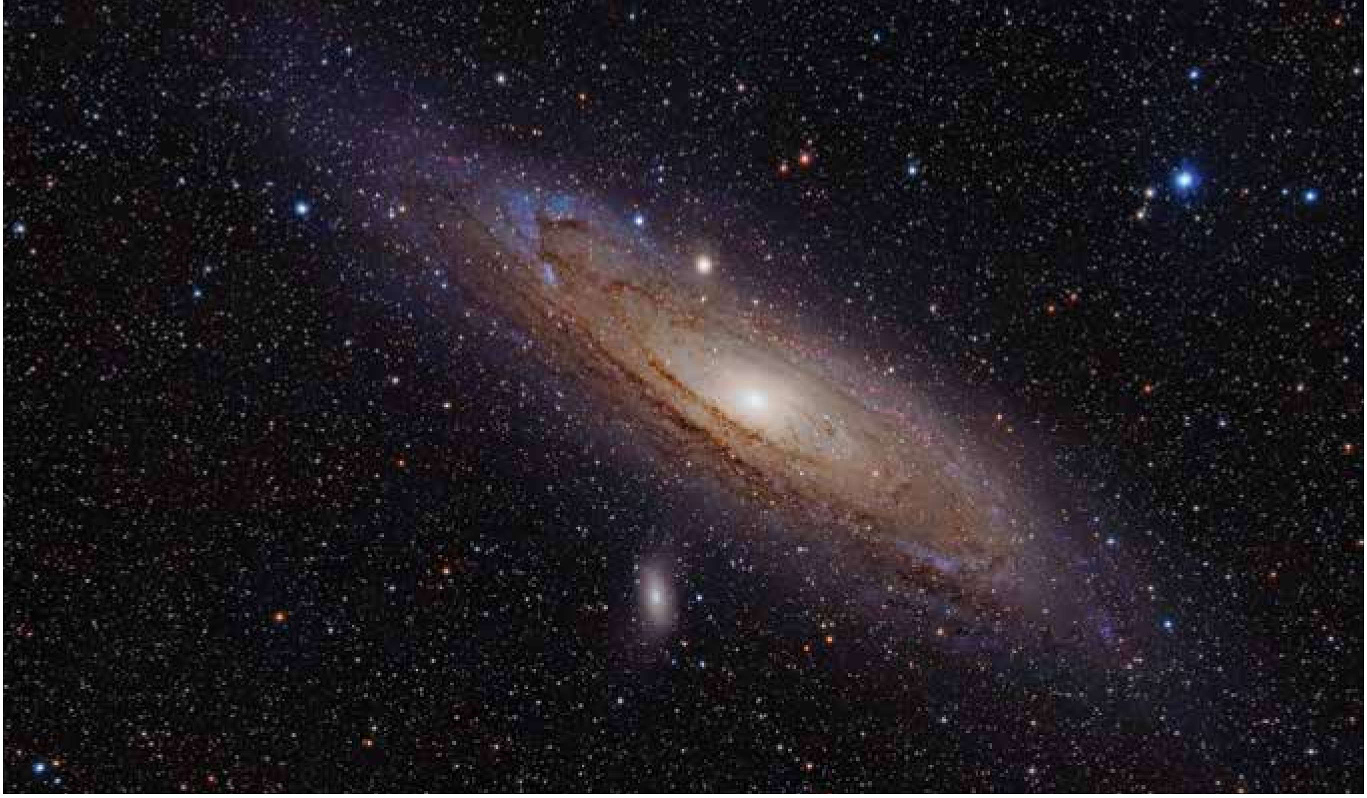
डार्क मैटर (स्याह पदार्थ) क्या है? हम कैसे जानते हैं कि उसका अस्तित्व है? वह कहाँ पाया जाता है? यह लेख ऐसे सवालों की छानबीन करता है, और दिखाता है कि किस प्रकार ब्रह्माण्ड की सबसे विराट संरचनाओं के अध्ययन से हमें पदार्थ के सबसे छोटे घटकों के बारे में कुछ जानकारी प्राप्त होती है।

यदि हम ब्रह्माण्ड को उसकी समग्रता में देखें तो हमें ऐसे अनेक पिण्ड दिखते हैं जो प्रकाश उत्सर्जित करते हैं। इसके स्पष्ट उदाहरण हमारे सूर्य जैसे तारे हैं। इसके अलावा उसमें गैस के विशालकाय प्रकाशमान बादल और क्वासर जैसे रहस्यमय पिण्ड हैं। इन सभी को सामूहिक रूप से प्रकाशमान या चमकने वाला पदार्थ कहा जाता है।

परन्तु ब्रह्माण्ड में हर चीज़ प्रकाश उत्सर्जित नहीं करती। इसके उदाहरणों में हमारी पृथ्वी सहित सौर मण्डल के सभी ग्रह भी शामिल हैं। ऐसे पिण्डों को सामूहिक रूप से डार्क मैटर कहा जाता है। सौर मण्डल में बहुत थोड़ा-सा डार्क मैटर है - सारे ग्रह, क्षुद्रग्रह (एस्टॉरायड), पुच्छल तारे (कॉमेट) आदि मिलकर उसके द्रव्यमान का केवल 0.14 प्रतिशत हिस्सा होते हैं। फिर हमें डार्क मैटर की चिन्ता क्यों करना चाहिए, और क्यों वह अध्ययन का विषय होना चाहिए? इसका कारण यह है कि सम्पूर्ण ब्रह्माण्ड के पैमाने पर देखते हुए, हमारा सौर मण्डल तो बहुत छोटा है, पर सुदूर बाह्य अन्तरिक्ष में कई अन्य प्रकार का बहुत-सा डार्क मैटर है।

डार्क मैटर को प्रेक्षणों में पकड़ना

इस बारे में विस्तृत चर्चा करने से पहले, हम इस पर एक नज़र डालें कि डार्क मैटर को कैसे पहचाना जाता है। हालाँकि शनि जितने सुदूर ग्रह भी उनके द्वारा परावर्तित सूर्य के प्रकाश के कारण सिर्फ़ नंगी आँखों से ही दिखाई दे जाते हैं, परन्तु और अधिक दूर के पिण्डों को देखने में यह विधि काम नहीं करेगी।



चित्र-1 : ऐण्ड्रोमेडा आकाशगंगा (गैलेक्सी) का हाल ही में लिया गया एक चित्र।
Source: Adam Evans, Wikimedia Commons. License: CC-BY. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/File:Andromeda_Galaxy_(with_h-alpha).jpg.

और अधिक डार्क मैटर को देखने का एक तरीक़ा वह है जिसका उदाहरण उन्नीसवीं सदी में वरुण (नेपच्यून) की खोज की विधि में मिलता है। उस समय अरुण (यूरेनस) की परिक्रमा कक्षा में देखी गई अनियमितताओं ने इंगित किया कि उस ग्रह पर ऐसा गुरुत्वाकर्षी खिंचाव पड़ रहा था जिसे समझाया नहीं जा सकता था - शायद, वह किसी ऐसे ग्रह के कारण था जिसे तब तक खोजा नहीं गया था। उसकी अनुमानित स्थिति के नज़दीक ही, फिर 1846 में वरुण को दूरदर्शी (टेलिस्कोप) के द्वारा खोज लिया गया। दूसरे शब्दों में जब कोई पिण्ड प्रकाश उत्सर्जित नहीं करता है, तब भी उसके द्वारा डाले जाने गुरुत्वाकर्षी प्रभावों के कारण उसकी उपस्थिति का अनुमान लगाया जा सकता है। चूँकि गुरुत्वाकर्षण सर्वव्यापी है, इसलिए यह सम्भावना है कि अन्य प्रकार के डार्क मैटर, जो दूरियों के विभिन्न पैमानों पर स्थित हैं, भी अपने गुरुत्वाकर्षी प्रभावों के कारण अपनी मौजूदगी का एहसास करवा सकते हैं।

डार्क मैटर का अस्तित्व होने के प्रमाणों की अगली कड़ी हमें सर्पिलाकार (स्पाइरल) आकाशगंगाओं से मिलती है। हमारी मिल्की वे आकाशगंगा एक सर्पिलाकार आकाशगंगा है। और ऐसी ही ऐण्ड्रोमेडा आकाशगंगा भी है, जिसे एम 31 के नाम से भी जाना जाता है, और जिसकी सर्पिल भुजाएँ **चित्र-1** में दिखाई दे रही हैं। जैसा कि हम देख सकते हैं यह आकाशगंगा चपटी प्रतीत होती है जिसके केन्द्रीय तल के आस-पास तारे फैले हुए हैं, वे उसके केन्द्र में एक उभार जैसा निर्मित कर देते हैं। अधिकांश सर्पिलाकार आकाशगंगाएँ इसी तरह की दिखाई देती हैं।

अब इसका रोचक पहलू सामने आता है। किसी आकाशगंगा में स्थित तारे, आकाशगंगा के केन्द्र का चक्कर लगाने के दौरान, एक-दूसरे पर गुरुत्वाकर्षी खिंचाव डालते हैं। न्यूटन का गुरुत्वाकर्षण का नियम हमें इसकी गणना करने की सुविधा देता है कि किसी तारे के चक्कर लगाने की चाल केन्द्र से उसकी दूरी पर निर्भर करती है। एक सरल गणना यह दर्शाती है कि केन्द्र से दूरी के बढ़ने के साथ तारे के चक्कर लगाने की चाल घटती जाती है (हमारे सौर मण्डल के बारे में ही विचार करके देखें - सबसे भीतर का ग्रह बुध सूर्य के चारों ओर तेजी-से 47.87 किलोमीटर/ सैकेण्ड की चाल से चक्कर लगाता है, जबकि वरुण धीमे-धीमे 5.43 किलोमीटर/सैकेण्ड की चाल से घूमता है)। इस प्रकार, हम वास्तव में यह नाप सकते हैं कि आस-पास की आकाशगंगाओं, जैसे कि एम 31, में तारे कितनी तेज़ी-से चक्कर

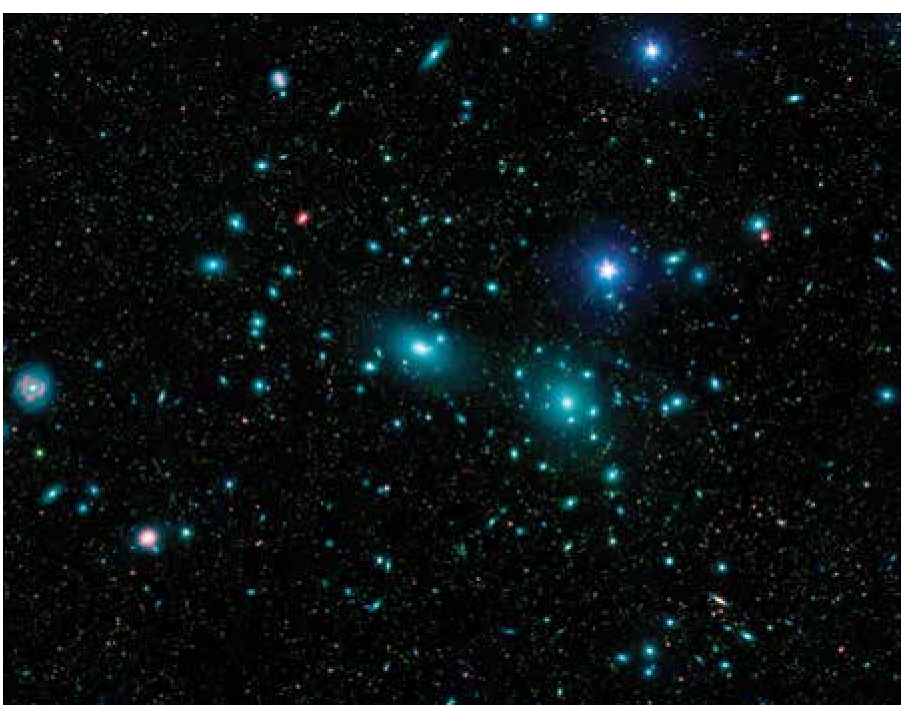
बॉक्स-1 : ब्लैक होल क्या होता है?

ब्लैक होल अन्तरिक्ष में एक ऐसा स्थान होता है जहाँ गुरुत्वाकर्षी खिंचाव इतना शक्तिशाली होता है कि उसमें से प्रकाश भी बाहर नहीं निकल सकता। ऐसा गुरुत्वाकर्षी खिंचाव इस कारण होता है क्योंकि बहुत-सा पदार्थ एक छोटी-सी जगह में ठस गया होता है। यह तब हो सकता है जब किसी तारे का जीवन समाप्त हो रहा होता है। और चूँकि उसमें से कोई प्रकाश नहीं निकल सकता, इसलिए लोग ब्लैक होल्स को देख नहीं सकते - वे अदृश्य रहते हैं।

बॉक्स-2 : अतिसमरूपता (सुपरसिमिट्री) : कुछ सिद्धान्तकारों ने 1970 के दशक में सुझाव दिया कि प्रकृति में एक नई समरूपता हो सकती है, जिसे अतिसमरूपता कह सकते हैं, और जो मौजूदा बुनियादी कणों का सम्बन्ध ऐसे अन्य कणों से जोड़ सकती है जिन्हें अभी तक खोजा नहीं जा सका है। उदाहरण के लिए इलेक्ट्रॉन, जिसका घुमाव (स्पिन) आधा होता है, का एक सुपर जोड़ीदार हो सकता है जिसका घुमाव शून्य हो। सभी सुपर जोड़ीदारों का बहुत भारी होना ज़रूरी होगा क्योंकि अभी तक कणों के होने वाले टकरावों में वे दिखाई नहीं दिए हैं। यदि हम मानक प्रतिरूप को आगे बढ़ाकर उसमें अतिसमरूपता को समाहित करते हैं, तो हमें ऐसे प्रतिरूप मिलते हैं जिनमें अब तक अनखोजे बहुत-से कण होते हैं, जिनमें विम्प कण भी शामिल रहते हैं।

लगा रहे हैं। परन्तु, एम 31 में, और इस तरह की सैकड़ों अन्य आकाशगंगाओं में एक बिलकुल भिन्न बात देखी जाती है। जब हम आकाशगंगा के बाहरी किनारे की ओर बढ़ते हैं तो तारों के चक्कर लगाने की चाल कम होने के बजाय स्थिर बनी रहती है।

इस विसंगति को समझाने के दो प्रमुख तरीक़े हैं। पहला तो यह कि न्यूटन का गुरुत्वाकर्षण का नियम आकाशगंगाओं के पैमानों पर काम नहीं करता। जहाँ कुछ वैज्ञानिक मानते हैं कि इस समस्या का हल इसी दिशा में ही निहित है, लेकिन इस लेख में हम इस धारणा पर आगे चर्चा नहीं करेंगे। समाधान का दूसरा रास्ता है यह मानकर चलना कि न्यूटन का नियम तो काम करता है, परन्तु आकाशगंगा का कुल द्रव्यमान उससे ज़्यादा समान रूप से वितरित रहता है जितना कि वह प्रतीत होता है। इसके अलावा, आकाशगंगा का द्रव्यमान उसमें स्थित तारों के कुल द्रव्यमान से बहुत अधिक प्रतीत होता है। दूसरे शब्दों में, आकाशगंगा डार्क मैटर से भरी होती है। इस बात को एक चित्रात्मक तरीक़े से इस प्रकार कहा जा सकता है कि, दिखाई देने वाली चकरी के अलावा, आकाशगंगा का एक हेलो (आकाशगंगा के चारों ओर फैला गोला या सेहरा) भी होता है जो चपटा होने के बजाय कमोबेश गोलाकार होता है।



चित्र-2 : कोमा क्लस्टर की एक सम्मिलित तस्वीर।
Source: NASA / JPL-Caltech / L. Jenkins (GSFC), Wikimedia Commons. License: Public Domain.
URL: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ssc2007-10a1.jpg.

आपके मन में सवाल उठ सकता है कि क्या यह बात ग़ैर-सर्पिलाकार आकाशगंगाओं के मामले में भी लागू होगी। अन्य महत्त्वपूर्ण प्रकार की आकाशगंगाओं - अण्डाकार (इलिप्टिकल) आकाशगंगाओं - में तारों की चाल के मापन से भी हम इसी निष्कर्ष पर पहुँचते हैं कि अधिकांश आकाशगंगाएँ डार्क मैटर से भरी हुई हैं। हमारी अपनी आकाशगंगा, मिल्की वे, के लिए लगाए गए अनुमान दर्शाते हैं कि उसके कुल द्रव्यमान का 80% और शायद यहाँ तक हो सकता है कि यह 95% हो - डार्क मैटर के हेलो के रूप में है।

आकाशगंगा के हेलो में डार्क मैटर

आकाशगंगा के हेलो में डार्क मैटर की प्रकृति ठीक-ठीक किस प्रकार की होती है? यह सवाल अभी भी अनसुलझा है। एक सम्भावना यह है कि यह हेलो, ग्रहों जैसे ऐसे पिण्डों या तारों से मिलकर बना होता है जो अभी भी निर्मित होने की प्रक्रिया से गुज़र रहे हैं। ब्लैक होल एक अन्य सम्भावना हैं।

ऐसे विशालकाय खगोलभौतिकीय सघन हेलो पिण्डों (मैसिव ऐस्ट्रोफिजिकिल कॉम्पैक्ट हेलो ऑब्जैक्ट्स) या माचो (वैज्ञानिकों को ऐसे संक्षिप्त नाम रखना अच्छा लगता है) में एक साझा विशेषता होती है कि वे 'साधारण' पदार्थ के बने होते हैं। जैसा कि हम जानते हैं साधारण पदार्थ बुनियादी रूप से प्रोटॉनों, न्यूट्रॉनों और इलेक्ट्रॉनों से मिलकर बना होता है, जिनमें इलेक्ट्रॉन बाक़ी दोनों प्रकार के कणों की तुलना में बहुत हल्के होते हैं। प्रोटॉन तथा न्यूट्रॉन एक विशेष प्रकार के प्रारम्भिक कण होते हैं जिन्हें बेरियोन कहा जाता है (यह ग्रीक शब्द *बेरिस* से निकला है जिसका अर्थ

होता है भारी), इसलिए साधारण पदार्थ को बेरियोनिक पदार्थ कहा जाता है। अब, यदि प्रस्तावित माचो नाम के ये पिण्ड बेरियोनिक पदार्थ से बने ग्रहों जैसे होंगे तो वे उन पर पड़ने वाले तारों के प्रकाश को परावर्तित करेंगे। चूँकि ऐसा माना जा सकता है कि हमारी आकाशगंगा माचो पिण्डों से भरी हुई है, तो उन्हें हमारे दूरदर्शियों से दिखाई देना चाहिए। परन्तु, उन्हें खोजने के लिए विशेष रूप से निर्मित किए गए प्रयास उन्हें ढूँढ़ पाने में असफल रहे हैं। इसके अलावा और भी अन्य तर्क दिए जाते हैं, और इन सबका कुल मिलाकर निष्कर्ष यही निकलता है कि माचो पिण्ड, यदि वाक़ई में उनका अस्तित्व है भी तो, हमारी आकाशगंगा के द्रव्यमान में बहुत थोड़ा-सा योगदान ही देते हैं।

परिणामस्वरूप, हम इस अपरिहार्य निष्कर्ष पर पहुँचते हैं कि आकाशगंगाओं का डार्क मैटर, हमारे सौर मण्डल के डार्क मैटर से बिलकुल अलग, किसी अनोखे प्रकार के कणों का बना होता है। इसके प्रस्तावित उम्मीदवारों में एक पसन्दीदा श्रेणी कमज़ोर पारस्परिक अन्तर्क्रियाएँ करने वाले विशाल कणों (वीकली इंटरैक्टिंग मैसिव पार्टिकिल्स या विम्प्स - यह भी वैज्ञानिकों के द्वारा गढ़ा गया एक और नाम है) की है। प्रोटॉनों तथा न्यूट्रॉनों की तुलना में कई गुना भारी विम्प कण आपस में कमज़ोर नाभिकीय बलों और गुरुत्वाकर्षण के माध्यम से अन्तर्क्रियाएँ करते हैं। कण भौतिकी मानक प्रतिरूप (Standard Model of particle physics) जिसे 1983 में डब्ल्यू बोसोन कणों की खोज से लेकर 2012 में हिग्स बोसोन कणों की खोज तक भरपूर सफलता मिलती रही है, में इन नए प्रकार के कणों के लिए कोई जगह नहीं है। इसलिए यदि आकाशगंगाओं के हेलो बहुत हद तक विम्प कणों से मिलकर बने हैं, तो कण भौतिकी मानक प्रतिरूप के पार जाना होगा। अध्ययन के इस क्षेत्र को बहुत रोमांचक बनाने वाली ख़ूबी अति विशाल और अति सूक्ष्म के बीच चलने वाला यह खेल है - एक ओर आकाशगंगाओं के हेलो हैं जिनका आकार आमतौर पर लाखों प्रकाश वर्ष का होता है और जो संकेत देते हैं कि हमें प्रोटॉन की त्रिज्या से भी छोटे पैमानों पर काम करने वाले भौतिकशास्त्र के नियमों के बारे में फिर से सोचने की ज़रूरत है। दिलचस्प बात यह है कि सैद्धान्तिक भौतिकशास्त्री भी, पूर्णतया भिन्न कारणों से, यह सुझाव देते रहे हैं कि हमें मानक प्रतिरूप के आगे जाने की ज़रूरत है। इस सन्दर्भ में एक लोकप्रिय धारणा अतिसमरूपता (सुपरसिमिट्री) की है, और अतिसमरूपता वाले प्रतिरूप स्वाभाविक रूप से विम्प कणों की ओर ले जाते हैं।

आकाशगंगाओं के समूहों में डार्क मैटर

हालाँकि आकाशगंगाएँ बहुत विशाल होती हैं, परन्तु फिर भी वे ब्रह्माण्ड की सबसे विराट संरचनाएँ नहीं होतीं। अधिकांश आकाशगंगाएँ ऐसे समूहों (क्लस्टर्स) में होती हैं जिनमें 100 से लेकर 1000 आकाशगंगाएँ तक उनके पारस्परिक गुरुत्वाकर्षण द्वारा बँधी हुई रहती हैं। वहाँ दूरियों के पैमाने दिमाग़ को चकरा देने वाले होते हैं - एक सामान्य क्लस्टर का आकार 1 से 2 करोड़ प्रकाश वर्षों का होता है। **चित्र-2** कोमा क्लस्टर को दर्शाता है जिसका केन्द्र 32 करोड़ प्रकाश वर्ष दूर है। ग़ौर करें कि इस चित्र में तारे जैसा दिखाई देने वाला हर पिण्ड वास्तव में एक आकाशगंगा है, जिसमें आमतौर पर एक अरब या उससे भी अधिक तारे होते हैं।

जब गुरुत्वाकर्षण बलों के माध्यम से परस्पर अन्तर्क्रिया करने वाले पिण्डों से मिलकर बनी कोई संरचना बहुत लम्बे समय से अस्तित्व में हो, तो हम अपेक्षा करते हैं कि उसके सदस्यों की गति करने की औसत ऊर्जा कमोबेश उसी स्तर की होगी जितनी उनकी अन्तर्क्रिया की ऊर्जा होती है। वास्तव में, यह दिखाया जा सकता है कि औसत गतिज ऊर्जा (काइनेटिक ऐनर्जी) परिमाण में औसत स्थितिज ऊर्जा (पोटेंशियल ऐनर्जी) की लगभग आधी होती है। पर असलियत में हम कुछ बिलकुल अलग ही बात देखते हैं। अधिकांश क्लस्टर में मौजूद आकाशगंगाएँ अपेक्षा से कहीं अधिक तेज़ी-से गति करती प्रतीत होती हैं। पर अब तक आपने ऐसा होने के कारण का अनुमान लगा लिया होगा। गुरुत्वाकर्षी खिंचाव के अदृश्य स्रोत पूरे क्लस्टर में वितरित रहते हैं - संक्षेप में कहें तो यह डार्क मैटर हैं। वास्तव में, यह शब्द डार्क मैटर सबसे पहले स्विस खगोलवैज्ञानिक फ्रिट्ज ज्विकी द्वारा बहुत पहले 1933 में उसी कोमा क्लस्टर के उनके अध्ययनों के सिलसिले में इस्तेमाल किया गया गया था, जिसकी आधुनिक तस्वीर हमने **चित्र-2** में देखी। ज्विकी इस निष्कर्ष पर पहुँचे कि उस क्लस्टर का द्रव्यमान उसमें निहित आकाशगंगाओं के द्रव्यमानों के कुल योग से 400 गुना अधिक था, जो यह दर्शाता था कि वह क्लस्टर ज़्यादातर डार्क मैटर से मिलकर बना हुआ था। इसका आधुनिक अनुमान इससे कुछ कम है, परन्तु फिर भी अब यह माना जाता है कि इस प्रकार के आकाशगंगा क्लस्टर के कुल द्रव्यमान का 90% डार्क मैटर का योगदान होता है।

निष्कर्ष

यह तो स्पष्ट है कि चूँकि डार्क मैटर समस्त ब्रह्माण्ड में इतने विराट पैमानों पर फैला हुआ है, इसलिए इसकी प्रबल सम्भावना है कि वह समग्र रूप से ब्रह्माण्ड (उसकी संरचना और साथ ही उसका विकास) की हमारी समझ निर्मित करने में महत्त्वपूर्ण भूमिका निभाए। और वह ऐसा ही करता है - क्योंकि अब ब्रह्माण्ड वैज्ञानिकों का बहुमत यह मानता है कि डार्क मैटर ने ब्रह्माण्ड की जटिल संरचनाओं की उत्पत्ति में प्रमुख भूमिका निभाई है। पूरे ब्रह्माण्ड में व्याप्त पृष्ठभूमि का माइक्रोवेव विकिरण सूक्ष्म लहरों (विगल) को दर्शाता है। यह तथा आकाशगंगाओं और उनके क्लस्टर की रचना तथा उनका विकास इस प्रतिरूप

के अनुरूप है कि ब्रह्माण्ड के कुल पदार्थ का लगभग 85% भाग डार्क मैटर के द्रव्यमान का होता है।

प्लैंक उपग्रह (जिसके अभियान का लक्ष्य पृष्ठभूमि के माइक्रोवेव विकिरण की सूक्ष्म लहरों का अध्ययन करना था) से प्राप्त हुए सबसे ताज़ा आँकड़ों के अनुसार ब्रह्माण्ड में निहित ऊर्जा के परिमाण का वितरण इस प्रकार है : बेरियोनिक पदार्थ 4.9%, डार्क मैटर 26.8% तथा डार्क ऐनर्जी (स्याह ऊर्जा) 68.3%। यह आख़िरी राशि चौंकाने वाली प्रतीत हो सकती है क्योंकि हमने अभी तक इसकी बात नहीं की है। पर, चूँकि संचार माध्यमों में आने वाली ख़बरें अक्सर डार्क मैटर और डार्क ऐनर्जी की बात करती हैं, इसलिए इस बात पर ध्यान देना ज़रूरी है कि ये दोनों बिलकुल अलग चीज़ें हैं।

सारांश में, विभिन्न प्रकार का डार्क मैटर ब्रह्माण्ड में दूरी के विभिन्न पैमानों पर फैला हुआ पाया जाता है। हमारी पृथ्वी, और हम ख़ुद भी, डार्क मैटर की इस कथा का हिस्सा हैं। परन्तु, ग्रह इत्यादि बेरियोनिक पदार्थ से मिलकर बने हैं जबकि बाह्य अन्तरिक्ष में फैला हुआ अधिकांश डार्क मैटर गैर-बेरियोनिक प्रकार का है। उसकी ठीक-ठीक प्रकृति वर्तमान अध्ययन का विषय है, और वह हमारी विराट की समझ - ब्रह्माण्ड विज्ञान - को हमारी अति सूक्ष्म की समझ कण भौतिकी से जोड़ती है। यह एक ऐसी बात है जिसकी किसी ने सौ साल पहले कल्पना भी नहीं की होगी। हम भाग्यशाली हैं कि हम ऐसे रोमांचक दौर में जी रहे हैं!

अमिताभ मुखर्जी दिल्ली विश्वविद्यालय के भौतिकी तथा खगोलभौतिकी विभाग में प्राध्यापक हैं। उनका ईमेल amimukh@gmail.com है।
अनुवाद : भरत त्रिपाठी